

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Návrh přípravku pro utahování šroubů diferenciálního kola

Jig Proposal for Tightening of Differential Wheel Screws

Student: Bc. Jiří Judas

Vedoucí diplomové práce: doc. Dr.Ing. Ivan Mrkvica

Ostrava 2011

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne.....

.....

Podpis studenta

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

JUDAS, J. Návrh přípravku pro utahování šroubů diferenciálního kola. Ostrava: katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011, 52 s. Diplomová práce, vedoucí Mrkvica, I.

Diplomová práce se zabývá návrhem přípravku pro utahování šroubů diferenciálního kola. Popisují zde postavení přípravků ve výrobě, jejich důležitost a rozmanitost. Seznámíme se zde s aktuální situací montážní stanice, kterou se budu snažit vyřešit. Výsledné řešení přípravku je součástí přílohy

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

JUDAS, J. Jig Proposal for Tightening of Differential Wheel Screws. Ostrava: Department of Working and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering VŠB - Technical University of Ostrava, 2011, 52 p. Thesis head: Mrkvica, I.

The following diploma thesis deals with proposal of jig for tightening of differential wheel screws. I describe the jigs position in fabrication, their importance and diversity. We will learn about the actual situation of assembly station, which I am solving. Final solution is a part of appendix

OBSAH

Seznam použitého značení, symbolů a zkratek.....	1
Úvod	2
Cíl práce.....	3
1. Definice a klasifikace přípravků [1]	4
2. Zásady konstrukce přípravků [2].....	7
2.1. Zásady konstrukce přípravků a pomocného zařízení	7
2.2. Nejdůležitější konstrukční zásady	9
3. Ustavení obrobku v přípravku [1].....	11
3.1. Princip ustavení.....	11
3.2. Konstrukční rovina – ustavující rovina – opěrná plocha.....	13
3.3. Konstrukce opěrných elementů přípravku	15
4. Použití přípravků [2]	25
5. Vliv třísek na konstrukci přípravku [2].....	27
5.1. Ochrana před třískami	27
6. Volba materiálu pro přípravky [2]	28
7. Rozbor stávající situace.....	30
8. Návrh řešení	32
9. Finální řešení.....	42
10. Technicko-ekonomické zhodnocení	45
11. Závěr	47
12. Seznam použité literatury	48
13. Seznam příloh.....	50
14. Seznam tabulek	51
15. Seznam obrázků.....	52

Seznam použitého značení, symbolů a zkratek

ZNAK	VELIČINA	JEDNOTKA
A_S	jmenovitý výpočtový průřez	$[\text{mm}^2]$
D_1	naváděcí průměr středícího čepu	$[\text{mm}]$
D_2	průměr středícího čepu	$[\text{mm}]$
E	modul pružnosti v tahu	$[\text{MPa}]$
F_{\max}	maximální zatěžující síla	$[\text{N}]$
H	výška čepu	$[\text{mm}]$
H_1	nosná výška závitu	$[\text{mm}]$
I_k	kvadratický moment průřezu	$[\text{m}^4]$
M_{\max}	maximální kroutící moment	$[\text{Nm}]$
$M_{O\max}$	maximální ohybový moment	Nm
P	stoupání závitu	$[\text{mm}]$
R	vzdálenost od osy výrobku k opěrnému bodu O	$[\text{mm}]$
R_m	pevnost v tahu	$[\text{MPa}]$
W_o	průřezový modul v ohybu	$[\text{m}^3]$
b	šířka naváděcí části středícího čepu	$[\text{mm}]$
d	nejmenší průměr otvoru	$[\text{mm}]$
d_1	malý průměr závitu	$[\text{mm}]$
d_2	střední průměr závitu	$[\text{mm}]$
d_3	malý průměr závitu (průměr jádra)	$[\text{mm}]$
l	délka vyložení	$[\text{mm}]$
m	hmotnost	$[\text{kg}]$
p	napětí	$[\text{MPa}]$
p_D	dovolené napětí	$[\text{MPa}]$
y_{\max}	maximální průhyb tyče	$[\text{mm}]$
z	počet aktivních závitů	$[-]$
α	úhel sklonu výrobku v mezní poloze	$[\text{°}]$
Δ	nejmenší vůle uložení	$[\text{mm}]$
σ	napětí	$[\text{MPa}]$
σ_D	dovolené napětí	$[\text{MPa}]$
σ_o	napětí v ohybu	$[\text{MPa}]$

Úvod

Přípravky jsou jedním z prostředků ke zvýšení technické a ekonomické úrovně výroby. Mezi výrobní prostředky patří: nástroje, přípravky a kontrolní měřidla. Mnoho takovýchto prostředků lze používat nezávisle na tvaru obrobku, některé pak nezávisle na výrobním postupu, např. vrtání, frézování, soustružení apod.

Typickými představiteli těchto výrobních prostředků jsou svěráky, sklíčidla, dělicí hlavy, šroubovitě vrtáky, soustružnické nože, posuvná měřidla, koncové měrky aj. Často jsou tyto prostředky používány v podobě komunální, nebo univerzální.

Jiné výrobní prostředky, např. formy pro tlakové lití, ohýbací nástroje, vrtací přípravky i vícepolohová měřidla, lze použít jen pro výrobu stejných, nebo skupinově blízkých součástí. Jejich konstrukční provedení je spojeno s obrobkem a proto jsou označovány jako speciální výrobní prostředky. Aby mohly být takovéto prostředky hospodárně využity, je třeba jejich nasazení při sériové výrobě.

Sériovosti se dosáhne též spojením malého počtu výrobků určité podobnosti do jedné skupiny. Takto sestavené skupiny lze pak hospodárně obrábět na jednotlivých výrobních prostředcích.

V malosériové a kusové výrobě se jich používá jen při požadované vysoké kvalitě výrobku a taky když je opracování součástí bez výrobních prostředků téměř nemožné, nebo když se dosáhne určitého zjednodušení práce.

Mechanizace a obzvláště automatizace výrobního procesu zostřují rozpory v nasazování univerzálních, nebo speciálních výrobních prostředků. Protože cena speciálních prostředků je vysoká, je snaha o konstrukci jen univerzálních prostředků. Z druhého pohledu však jejich objem roste s mechanizací a automatizací stále více. Určitou pomocí při odstraňování tohoto problému je pokračující standardizace součástí.

Cíl práce

Cílem této diplomové práce je navrhnout, rozkreslit a zhodnotit přípravek pro utahování šroubů diferenciálního kola pomocí utahovačky Bosch Rexroth ESA150S.

Při ručním dotahování není totiž možné udržet samotnou utahovačku v ruce kvůli velkému utahovacímu momentu (viz. Tabulka 3).



Obr. 1: Zadání

1. Definice a klasifikace přípravků [1]

Zatímco nástroj působí aktivně na utváření ploch obrobků, umožňují přípravky provádět výrobní operace v požadované kvalitě a v určitém výrobním čase. Z toho lze přípravky definovat pojmově:

Jsou to speciální výrobní prostředky, které svou funkcí umožňují dodržet určitou polohu opracované součásti proti použitému nástroji. Poloha ustavení obrobku se nesmí během operace měnit. Přitom výměna obrobku, popřípadě nástroje, se musí dít bez obtíží snadno a rychle.

Úkoly, které přípravky v praxi plní lze rozdělit do tří skupin:

- 1. **Orientují ustavení obrobku** na výrobním stroji bez pracného seřizování. Odstraňují operace orýsování součásti a podle něho pak ustavení součásti. Přípravek pomáhá získat vyšší přesnost obráběných rozměrů, omezuje nepřesnost výroby.*
- 2. **Zvyšují produktivitu práce.** To znamená snížit pracnost zkrácením normy času potřebného ke zhotovení součásti. Přitom lze jednicový čas zkrátit zvýšením současně obrábějících nástrojů. Tento požadavek splňují několika vřetenové vrtací i frézovací hlavy, více nožové držáky na soustruzích apod. Zkrácení výrobního času lze dosáhnout také obráběním několika součástí současně. K tomuto případu používáme vícepolohové přípravky, nebo přípravky se souborovým ustavení obrobků. Dále můžeme zkrátit výrobní časy úpravou řezných podmínek. Tuto podmínku plní přípravky zvyšováním tuhosti systému stroj – přípravek, nástroj – obrobek. Přípravek snižuje též vedlejší časy a to hlavně ustavovací a upínací složky. Snadná orientace při upínání obrobku odstraňuje jeho zdlouhavé středění a rychloupínací systémy snižují čas upnutí. Rychlá přestavba přípravku pro obrábění různých součástí zvyšuje celkovou produktivitu práce.*

3. Rozšiřují rozsah technologického vybavení stroje. Provozy se sériovou výrobou jsou v zásadě vybaveny universálními stroji. Užití speciálních přípravků umožňuje využití těchto strojů i při velkosériové výrobě, nebo mohou tyto stroje plnit úlohy, které přísluší jiným výrobním strojům.

Jestliže nasazujeme při obsluze univerzálních obráběcích strojů dělníky s vyšší kvalifikací, pak při práci na strojích vybavených speciálními přípravky můžeme využít pracovní síly s nižší kvalifikací. Snížení vedlejšího času dovoluje v některých případech i užití vícestrojové obsluhy.

Účelem přípravku je zajistit jednoznačnou polohu obrobku při jeho ustavení a to při opakované výrobě. Přípravek umožňuje realizovat technologický postup výroby lehce, spolehlivě a hospodárně. Tyto výhody nám pak přináší růst produktivity práce a zlepšení pracovních podmínek.

Klasifikace přípravků se dělí podle několika charakteristických znaků:

1. Podle **operačních znaků** jsou děleny do následujících skupin:

1.1. Strojní přípravky – slouží k ustavení a upnutí součástí na obráběcích strojích. Podle způsobu obrábění se dělí dále na vrtací, soustružnické, vyvrtávací, brusné, aj. Tvoří nejširší skupinu přípravků, až 80% z celkového počtu přípravků.

1.2. Kontrolní přípravky – používají se ke kontrole správnosti rozměrů a to v mezioperační a výstupní fázi výroby. Slouží též ke kontrole samotných prvků, skupin i strojů.

1.3. Montážní přípravky – umožňují snadnější spojení sdružených částí a montážních jednotek složeného výrobku. Vyvozují potřebnou deformaci pružných elementů (pružiny, pera, apod.). Vykonávají operace potřebné k vyvození větších sil. Do této skupiny lze zařadit i přípravky svařovací.

1.4. Přípravky pro upevňování nástrojů – jsou charakterizovány u všech druhů nástrojů značným počtem upínacích normalizovaných konstrukčních členů. Jsou základními články technologických systémů.

1.5.Podávací přípravky – uskutečňují přemísťování dílců různým stupněm automatizace.

2. Podle stupně specializace se přípravky dělí na univerzální, speciální a specializované:

2.1.Univerzální přípravky slouží k upnutí obrobků různých druhů a tvarů v určitém rozsahu velikosti. Patří tu svěráky, sklíčidla, apod. Užití speciálních doplňků, např. speciální tvarové čelisti apod., rozšiřuje jejich pracovní technologický rozsah nasazení. Tato skupina přípravků je vhodná pro kusovou a malosériovou výrobu.

2.2.Speciální přípravky jsou jednoúčelová, neseřizovatelné a slouží k upnutí obrobku pro určitou operaci. Jsou vhodné při velkosériové, nebo hromadné výrobě součástí typu – hřídel, příruba, pouzdro aj.

2.3.Skupinové přípravky jsou určeny pro upínání skupin obrobků s podobnými konstrukčními i technologickými znaky, které jsou sjednoceny podle obecných základních ploch a charakteru obrábění. Tvoří určitou analogii s přípravky speciálními, které dále rozvíjí.

2.4.Stavebnicové přípravky se svým charakterem blíží přípravkům skupinovým. Jsou však složeny ze standardizovaných dílců a montážních jednotek, které jsou rozebiratelné a lze jich v různých kombinacích využít několikanásobně.

3. Podle funkce elementů přípravků je dělíme dále na ustavovací, upínací, s ručním upínáním, s mechanickým upínáním, silové převody, určující polohu a směr pohybu nástrojů, pomocné aj.

2. Zásady konstrukce přípravků [2]

2.1. Zásady konstrukce přípravků a pomocného zařízení

Aby přípravek splnil své poslání, musí být nejen přesný, ale i hospodárný, tj. musí mít součinitel hospodárnosti větší než jedna. Znamená to, že úspory dosažené přípravkem musí být větší než jeho pořizovací náklady. Velikost úspor zde závisí na úsporách dosažených nejprve na jednom obrobku a dále na celkovém počtu obráběných obrobků.

Například celkový počet vyráběných kusů jednoho druhu obrobku je v kusové výrobě celkem malý. Proto se musí konstruovat jednoduché a levné přípravky a zařízení. Takovými zařízeními se ovšem dosáhne jen malé produktivity výroby. Porovnájí-li se obrobky obráběné na jednom obráběcím stroji za určité časové období, ukáže se, že je lze roztrždit na skupiny, v nichž si jednotlivé obrobky jsou tak podobné, že se pro jejich výrobu dá vyřešit společný přípravek.

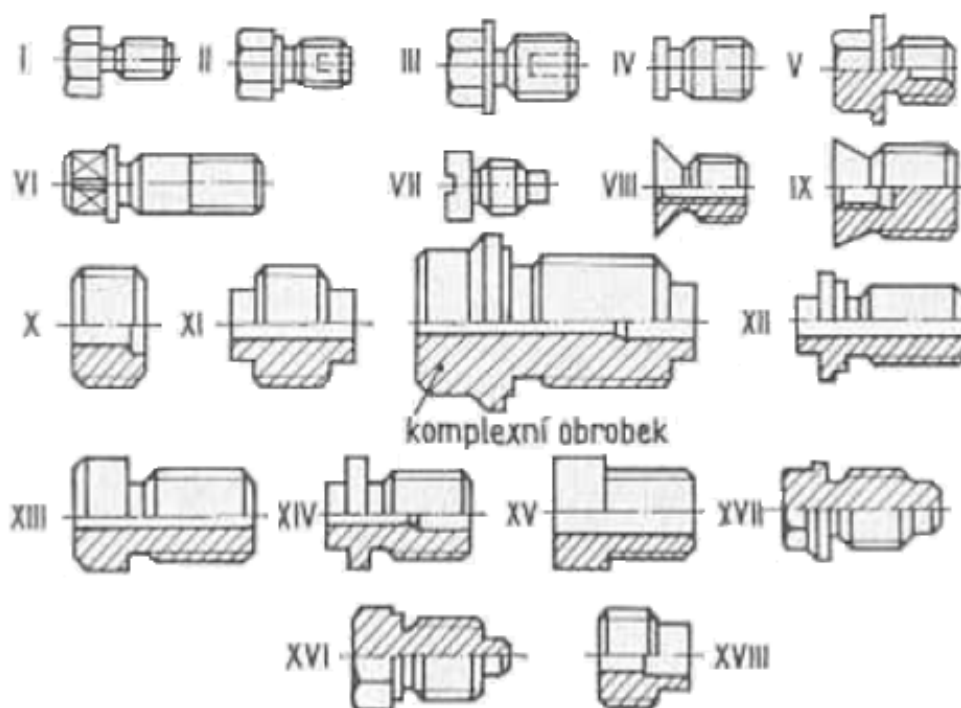
Pro jednotlivé obrobky jsou pak v tomto přípravku seřizovatelné, nebo výměnné součástky. Největší část, nebo skupina součástí přípravku by zůstala pro celou skupinu společná. Tím se počet obrobků v jednom přípravku zvýší několikanásobně, čímž se zvednou i úspory. Obrobky mají takto roztrždit již v konstrukční kanceláři zavedením tvarového číslování výkresů, nebo označením výkresu klasifikačním číslem.

Při tvarovém číslování výkresů se součásti nejdříve třídí do obecných tříd (hřídele, pouzdra, ozubená kola, skříně, páky, apod.). Každá třída se pak dělí na skupiny podle technologických podmínek. Do jednotlivých skupin se zařadí obrobky stejného druhu polotovaru, podobného tvaru a rozměrů, s obdobnou polohou obráběných ploch, s podobnými požadavky na přesnost a jakost povrchu.

Jako základní obrobek pro konstrukci zařízení se z celé podskupiny vybere obrobek nejsložitější. Tento obrobek musí mít všechny geometrické prvky ostatních obrobků celé skupiny. Není-li tomu tak, analyzují se ostatní obrobky jeden po druhém a odlišné geometrické prvky se postupně kreslí do nejsložitějšího základního obrobku. Tím vznikne nový, tzv. komplexní obrobek, znázorněný na obr. 2. Na tento obrobek se vypracuje technologický postup, který je společný všem ostatním obrobkům příslušné podskupiny.

Základní seřízení stroje zůstává téměř po celou dobu výroby všech ostatních obrobků nezměněno, jen při přechodu výroby na další obrobek vyžaduje menší úpravy. U těchto přípravků a zařízení se zavádějí potřebné rychloupínací prvky, zkrátí se upínací časy, což znamená další úspory.

Mezi nejdůležitější rychloupínací zařízení patří vzduchová a hydraulická zařízení. Jejich zavedením se zkracuje upínací čas přibližně na čtvrtinu času potřebného pro ruční upínání. Přípravky s pneumatickým, pneumaticko-hydraulickým, nebo hydraulickým upínáním jsou většinou dražší než přípravky s ručním upínáním.



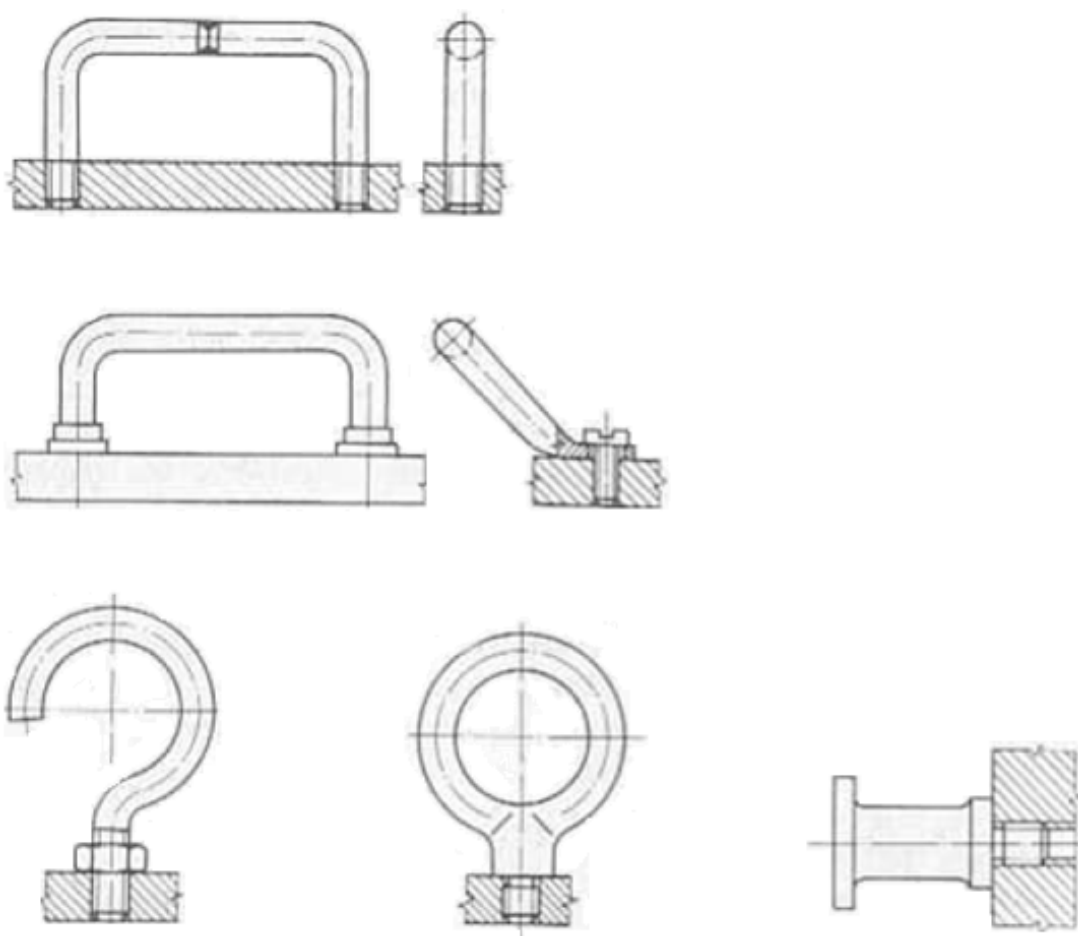
Obr. 2: Komplexní obrobek

2.2. Nejdůležitější konstrukční zásady

Při konstrukci upínacích přípravků se musíme řídit těmito zásadami:

- a) Před navržením přípravku se musí přesně vyjasnit celý pracovní postup vyráběné součásti. Zvláště důležité je, aby se při prvním obrábění získala základní plocha, nebo díra, které budou výchozí při dalších operacích.*
- b) Pro menší série je výhodné uspořádat operace tak, aby se dalo použít jednoho upínacího přípravku pro několik operací.*
- c) Obráběná plocha musí ležet co nejbližší k upínací ploše obráběcího stroje, aby byla zaručena stabilita upínacího přípravku.*
- d) Přípravek musí být tuhý, aby se nedeformoval působením řezných a upínacích sil.*
- e) Poloha předmětů v přípravku má být zajištěna pevnými dorazy.*
- f) Výslednice pracovních sil má působit pokud možno proti pevným dorazovým plochám*
- g) Obsluha má být jednoduchá a pohodlná. Ovládací prvky (páky, rukojeti, ruční kola, matice, apod.) musí být dobře přístupné.*
- h) Má-li se přípravek při práci přemisťovat a snímat ze stroje, nesmí mít větší hmotnost než 20kg. Pro snazší přemisťování se přípravky opatřují rukojetí, uchy apod. obr. 3*
- i) Je třeba pamatovat na odtok chladicí tekutiny (řezné kapaliny) a na odpad třísek. Dosedací plochy musí být čisté a snadno čistitelné.*
- j) Plochy, které jsou vystaveny opotřebení, musí být tvrdé. Někdy musí být i vyměnitelné.*
- k) Přípravky, které se upínají na vřeteno stroje, musí být vyvážené, aby nezpůsobovaly nepřipustné chvění vřetena a tím i nepřesnost výroby a menší trvanlivost nástroje. Musí být lehké, aby nezvětšovaly moment setrvačnosti vřetena a tím neztěžovaly rozbíhání a brzdění.*
- l) Všechny ostré hrany, které mohou přijít do styku s lidskou rukou, musí být zaobleny, aby se předešlo zranění.*

- m) Vkládací prostor pro obrobek musí být upraven tak, aby se ruční manipulace konala z dostatečné vzdálenosti od nebezpečných částí stroje, nástrojů apod.
- n) Při konstrukci je vhodné co nejvíce používat normalizovaných součástí. Nejříve je nutné se přesvědčit, zda by se pro daný případ nemohlo použít přípravku již hotového, popřípadě upraveného.
- o) Je vhodné řešit přípravek stavebnicově.
- p) Konstrukce přípravku nesmí připustit obrácené vložení předmětu.



Obr. 3: Přemísťovací prvky přípravku

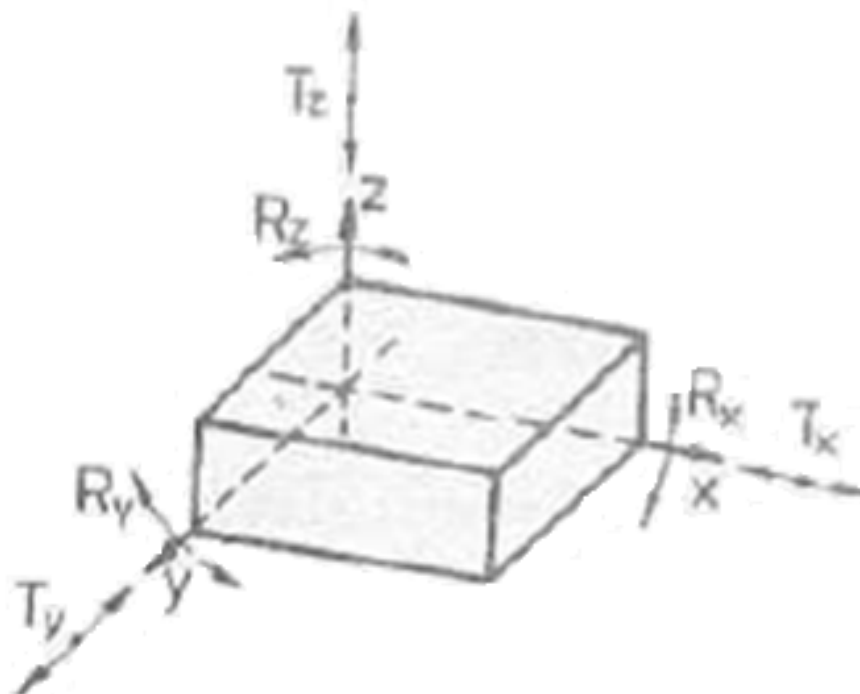
3. Ustavení obrobku v přípravku [1]

Součást se musí při výrobě ustavit přímo na stroj, nebo do přípravku v určité poloze vzhledem k nástroji, aby byly dodrženy řezné podmínky.

3.1. Princip ustavení

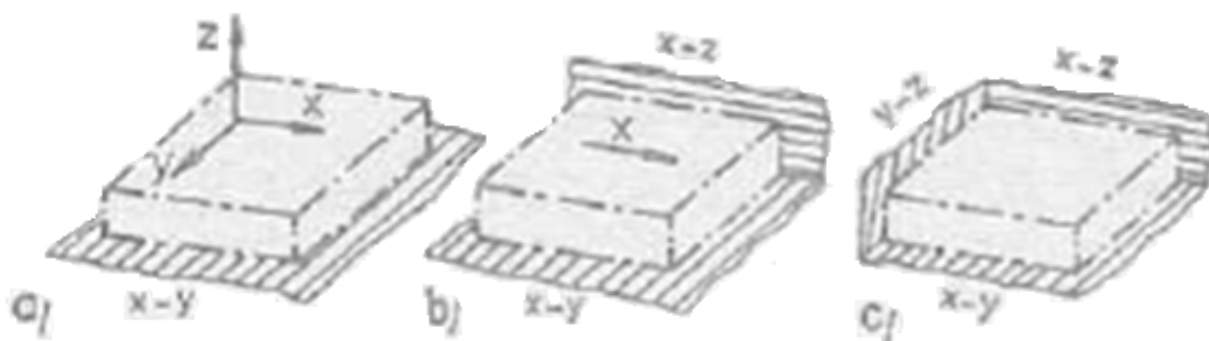
Ustavení lze definovat zařazením obrobku, nebo nástroje do jednoznačné polohy pro vykonání vyžadované operace na příslušném výrobním zařízení. Díky správně ustaveným obrobkům získáme požadovanou přesnost výkresových tolerancí. Základy správného ustavení součásti v přípravku jsou odvozeny z teorie stupňů volnosti.

Těleso, které se může v prostoru volně pohybovat, má 6 stupňů volnosti. Na obr. 4 Je znázorněn kvádr v kartézském souřadném systému. Takové těleso se může pohybovat ve směru tří os. Tím jsou určeny stupně volnosti – translační. Mimo to lze otáčet kvádr okolo všech tří os. Tím jsou určeny další tři stupně volnosti – rotační.



Obr. 4: Kvádr v kartézském souřadném systému

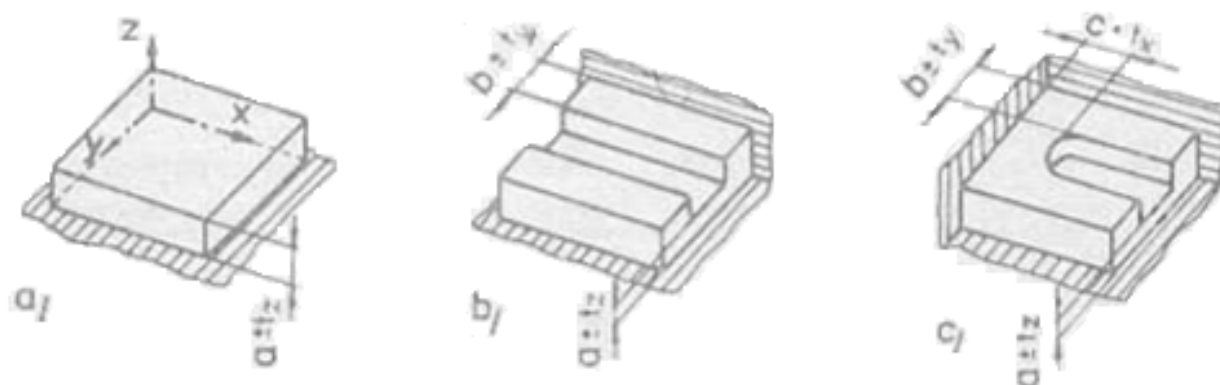
Podle obr. 5a lze v rovině $x - y$ posunout těleso ve směru os x a y a otočit okolo osy z . Tím vymezuje rovina tělesu tři stupně volnosti. Přiřadíme-li druhou rovinu $x - z$, obr. 5b ztratí těleso další dva stupně volnosti a to posun ve směru osy y a rotaci okolo osy z . Tělesu zůstává jen jeden stupeň volnosti, tj. posunutí ve směru osy x . Tento šestý stupeň je vymezen třetí rovinou $y - z$, obr. 5c



Obr. 5: Odebírání stupňů volnosti

Pro ustavení obrobku v přípravku nejde jen o vymezení šesti stupňů volnosti. Mimo to musí být zajištěn takový souřadnicový systém, ke kterému se vztahuje vymezení stupňů volnosti a to v určité poloze k nástroji.

Vymezení šesti stupňů volnosti není požadováno u každého ustavení obrobku. Kolik stupňů volnosti je třeba vymežit, to určuje technologický postup výroby, druh operace a požadovaná přesnost výrobku. Na obr. 6a je znázorněn kvádr, jehož rozměr $a \pm t_z$ je obroben frézováním.



Obr. 6: Správné ustavení při frézování drážky

Pro vhodné ustavení obrobku se vyžaduje vymezení tří stupňů volnosti. Požadavek ustavení proti nástroji splňuje a zajišťuje rovina $x - y$. Abychom mohli při frézování drážky, obr. 6b obrobit vedle jmenovitého rozměru a též i rozměr b , musíme pro ustavení součásti použít další boční rovinu $x - z$. Přitom vymezíme obrobku již pět stupňů volnosti.

Při frézování neprůchozí drážky, obr. 6c určují přesnou polohu ustavení obrobku již tři roviny. Tyto roviny také zajišťují přesné obrobení všech tří rozměrů a , b , i c . Z toho vyplývá, že při ustavování obrobků vymezuje jen tolik stupňů volnosti, kolik jich bezpodmínečně potřebujeme k zajištění výroby konstrukcí daných rozměrů součástí.

3.2. Konstrukční rovina – ustavující rovina – opěrná plocha

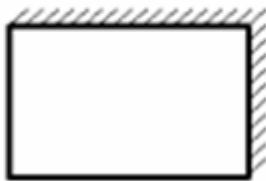
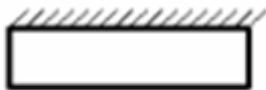
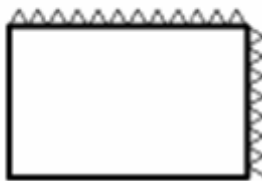
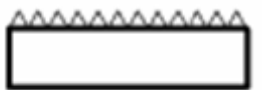

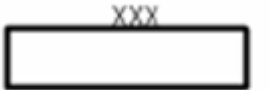
*Každý obrobek je složkou stroje nebo přístroje, kde plní určitou funkci. Zakótování rozměrů součásti je provedeno tak, aby zajišťovalo její funkci. Rozměry jsou ve většině vztaheny a tolerovány k určité rovině. Takovou rovinu, ke které konstruktér vztahuje určující rozměry, označujeme jako **konstrukční rovinou** a je zároveň funkční podmiňující plochou.*

Abychom vymezili stupně volnosti při ustavení, musí být určité ustavující plochy obrobku v kontaktu s opěrnými elementy přípravku. Jestliže bude plocha obrobku rozdílná od geometricky ideální roviny, je bezchybné ustavení podle konstrukční roviny nesplnitelné. Proto se musí vytvořit k určité situaci rovina, která je odchylná od roviny konstrukční. Z geometrických rozdílů vidíme to, že ustavení obrobku podle konstrukčních rovin je téměř nemožné. Proto definujeme ustavující rovinu.

Ustavující rovina (určující nastavení) je zpravidla rovinou kontaktu obrobku s opěrnými elementy přípravku. Tato rovina je výrobně podmiňující plochou. Jako opěrné plochy označujeme ty roviny, které se v určité situaci stýkají při ustavení.

Opěrné plochy určuje konstruktér a tím se odlišují od ustavujících rovin. Tyto plochy (ustavující a opěrnou) volíme tak, aby byly shodné s rovinou konstrukční. Tím se zmenší ohyby rozměrů výrobku na minimum.

Zvolíme-li ustavující rovinu do jiné roviny než je rovina konstrukční, vzniknou na obrobku po ustavení chyby I. řádu. Naopak, jsou-li konstrukční a ustavující roviny teoreticky shodné, pak chyby, které se objeví, jsou vyvozeny geometricky nepřesnými opěrnými plochami. Takto vzniklé chyby jsou menší, než chyby I. řádu, tudíž je řadíme mezi chyby II. řádu. Značky při ustavování jsou znázorněny v Tabulce 1.

Konstrukční roviny	Ustavující roviny	Opěrné plochy
 	 	  XXX - tři stupně volnosti XX - dva stupně volnosti X - jeden stupeň volnosti

Tabulka 1: Značky rovin a opěrných ploch

3.3. Konstrukce opěrných elementů přípravku

Volba opěrných ploch a elementů přípravku ovlivňuje polohu ustavující roviny k rovině konstrukční. Opěrné plochy můžeme rozdělit na plochy rovinné, rovinně zakřivené a prostorově zakřivené. V případě, že křivost obrobku je funkční plochou, pak musí být obrobena jako první.

Válcová plocha patří mezi zvláštní případy rovinně zakřivených ploch. Obrobek tedy může být ustaven rozdílně a to podle opěrné plochy rovinné, válcové nebo jinak rovinně zakřivené.

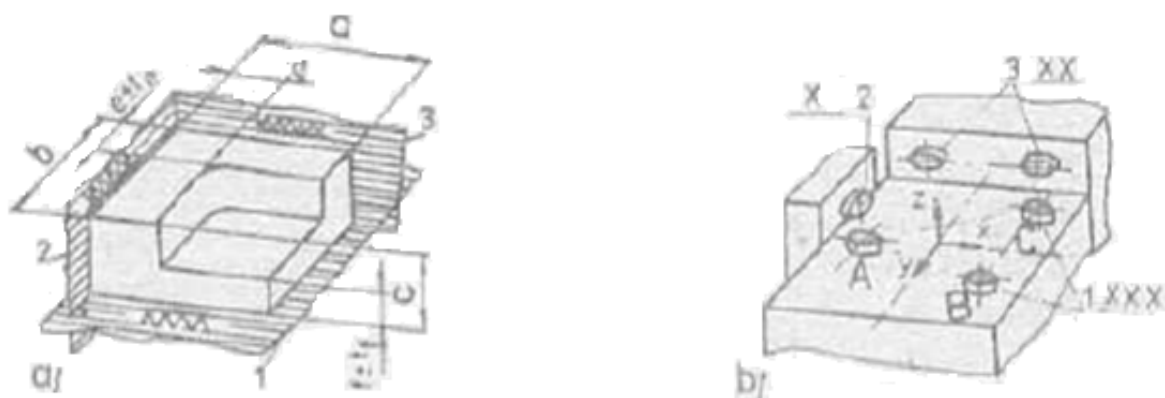
Vedle geometrických tvarů opěrných ploch obrobků je důležitá i kvalita jejich povrchů. Špatně ustavitelné jsou surové opěrné plochy výkovků a odlitků.

3.3.1 Ustavení obrobků s rovinnými opěrnými plochami

Na obr. 7 je znázorněn obecný případ ustavení podle tří na sebe kolmých konstrukčních rovin. Roviny jsou udány jmenovitými rozměry d , e a f .

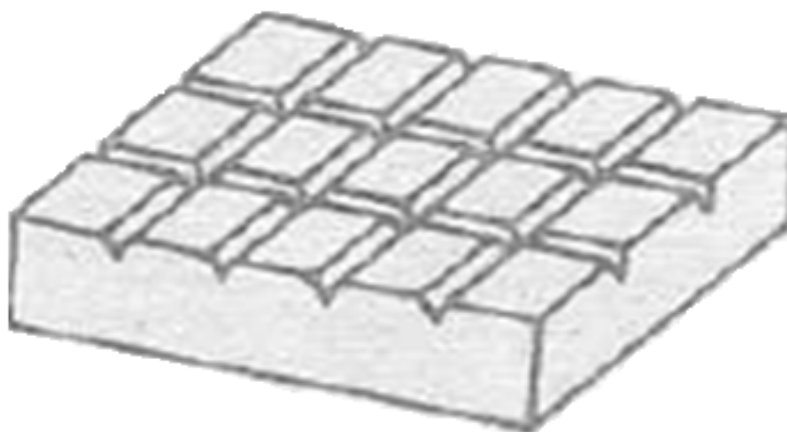
První ustavující rovinou je plocha, která je vymezená největšími rozměry. Tato plocha je určena třemi opěrnými elementy, obr. 7b. Tím má obrobek vymezeny tři stupně volnosti, posun ve směru osy z a rotace okolo os x i y . O dva opěrné elementy druhé opěrné plochy přípravku je opřena menší ustavující rovina.

Tím vymezujeme další dva stupně volnosti, posun ve směru osy y a rotaci okolo osy z . Poslední stupeň volnosti na nejmenší ustavující rovině obrobku je vymezen jedním opěrným elementem, který je přiřazen třetí opěrné ploše přípravku. Tuhost a tím i kvalitu obráběné plochy ovlivňují druhy použitých opěrných elementů. Nerovné opěrné plochy odlitků, výkovků apod. je vhodné ustavovat na tři opěrné elementy.



Obr. 7: Ustavení podle tří na sebe kolmých rovin

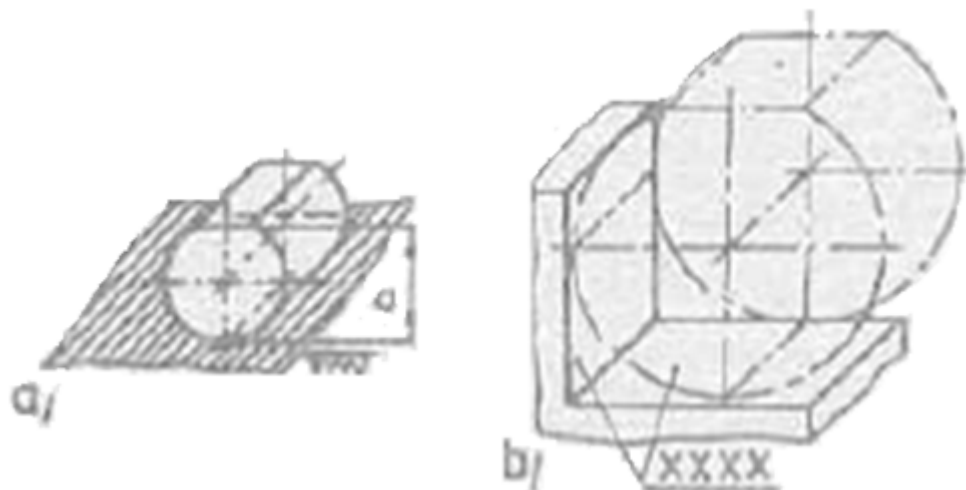
Z toho plyne, řep či ustavování obrobku nutno přihlížet k jeho tuhosti. Málo tuhé dílce lze úspěšně ustavovat na jednu opěrnou plochu přípravku, obr. 8. Plošná opěra má křížové drážkování pro snadnější odstraňování třísek a nečistot.



Obr. 8: Plošná opěra

3.3.2 Ustavení obrobků s válcovými opěrnými plochami

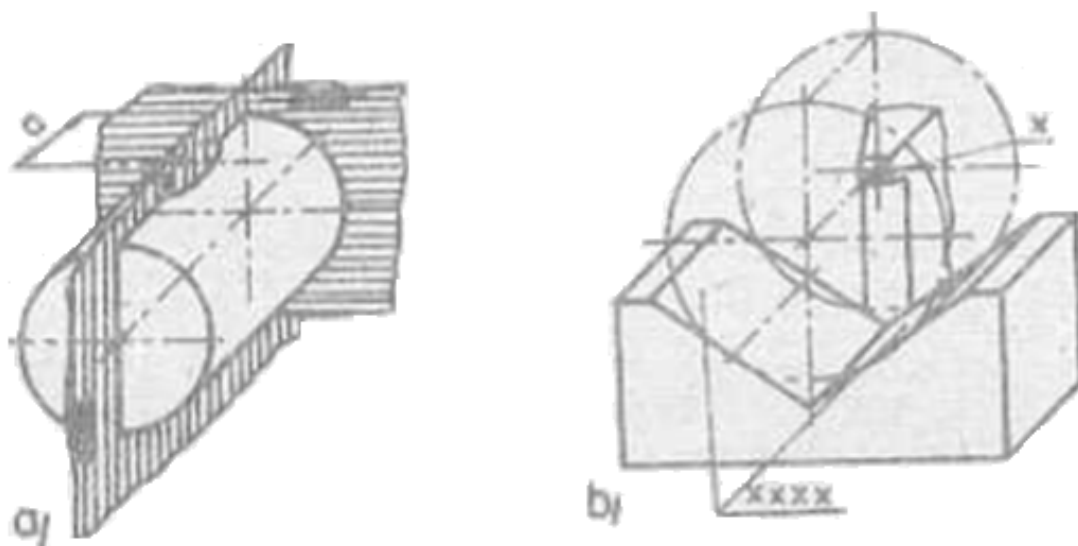
Opět můžeme ustavovat podle jedné, dvou, nebo tří konstrukčních rovin. Na obr. 9 je znázorněn dílec ustavený pro operaci frézování. Konstrukční rovina je odvozena od jmenovitého rozměru a . površka válcové plochy leží v konstrukční rovině.



Obr. 9: Ustavení pomocí dvou kolmých ploch

Dílec je ustaven pomocí dvou kolmých opěrných ploch přípravku (prizma), obr. 9b Površky válce leží v ustavující rovině a shodně pak i v rovině konstrukční. Roviny se vzájemně překrývají a tím je zajištěna bezchybnost výroby dílce ve směru rozměru a .

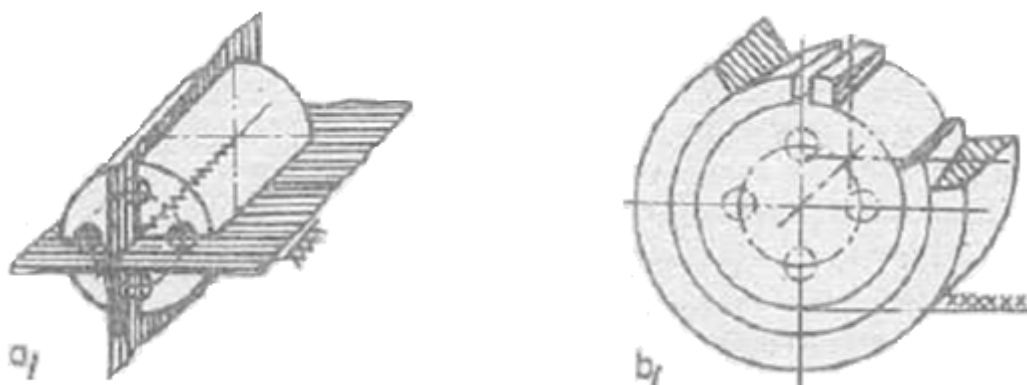
Při ustavení obrobku podle jedné osové roviny, obr. 10, užijeme rovněž prizmatické opěry. Druhá konstrukční rovina (čelní rovina), obr. 10a, se kryje bezchybně s ustavující rovinou, když opěrnou plochu přípravku vytváří jeden bod. Předpokladem je kolmost površek dílce na jeho čelní rovinu.



Obr. 10: Ustavení do prizmatu

Obtížnější je ustavení válcového obrobku podle vzájemně kolmých konstrukčních osových rovin. Jednoduchá prizmatická opěra zaručuje bezchybnost ustavení jen v jedné osové rovině obrobku. Přesné ustavení válcové plochy podle dvou osových rovin umožňuje pouzdro kleštinového typu. Opěrná plocha obrobku je uzavřena opěrnou plochou přípravku, podle obr. 11.

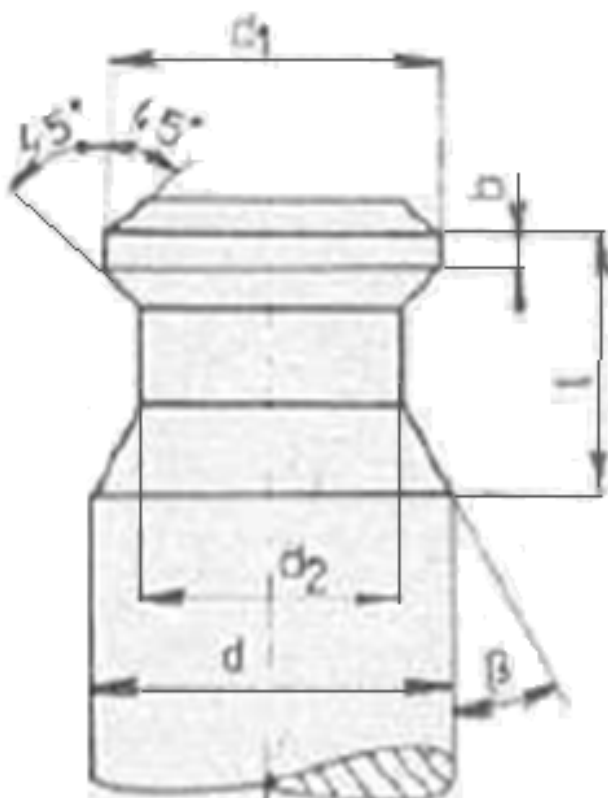
Drážkami rozdělené kuželové pouzdro vyrovnává toleranční rozdílnost průměrů obrobku. Obě konstrukční roviny se tak kryjí s ustavujícími rovinami a tak zaručují bezchybnost ustavení.



Obr. 11: Ustavení do kleštin

3.3.3 Středící nákrůžky a středící čepy [1,2]

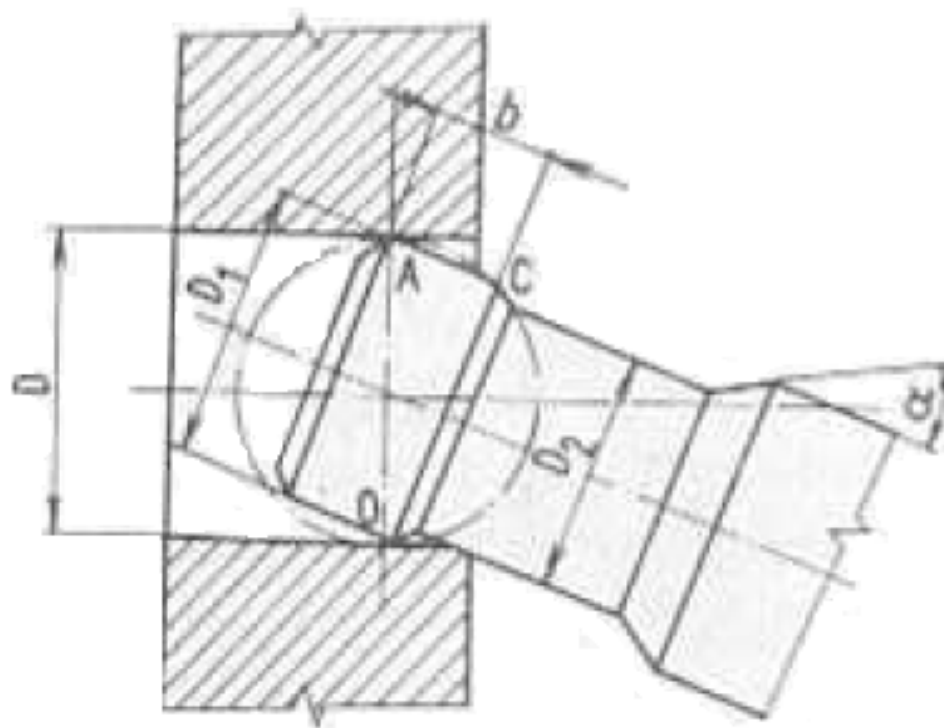
Při ustavování obrobku za otvor se velmi často stává, že se dílce při zavádění na opěru vzpříčí a jejich naražení se provádí paličkou. Vzpříčení se dá zabránit konstrukční úpravou zaváděcí části středící opěry, obr. 12.



Obr. 12: Středící čep

Při ručním i mechanickém nasouvání obrobku na středící opěru bývá odchýlení os v rozmezí 15° až 20° , Tuto úchylku kompenzuje úzká válcová část $d_1 \times b$ a krček průměru d_2 . Velikost těchto rozměrů vypočteme z geometrických poměrů mezi rozměry díry, tvarem zaváděcí části opěry a úhlem vkládání. Mezi nejmenším průměrem otvoru d a průměrem čepu d_1 Je vůle: $\Delta = d - d_1$.

Pro nasunutí zaváděcí Části do otvoru při úhlu musí být úhlopříčka obdélníku $d_1 \times b$ menší než průměr otvoru obrobku, tzn.: $d_2 = d_1^2 + b^2$.



Obr. 13: Schéma výpočtu středícího čepu

Průměr D_1 je menší než průměr D a mezi oběma průměry je vůle $D - D_1 = \Delta$.
Z trojúhelníku OAC (obr. 13) určíme, že:

$$\overline{AC}^2 = \overline{OA}^2 - \overline{OC}^2,$$

$$b^2 = D^2 - D_1^2 = D^2 - D^2 + 2D\Delta - \Delta^2,$$

$$b^2 = 2D\Delta - \Delta^2,$$

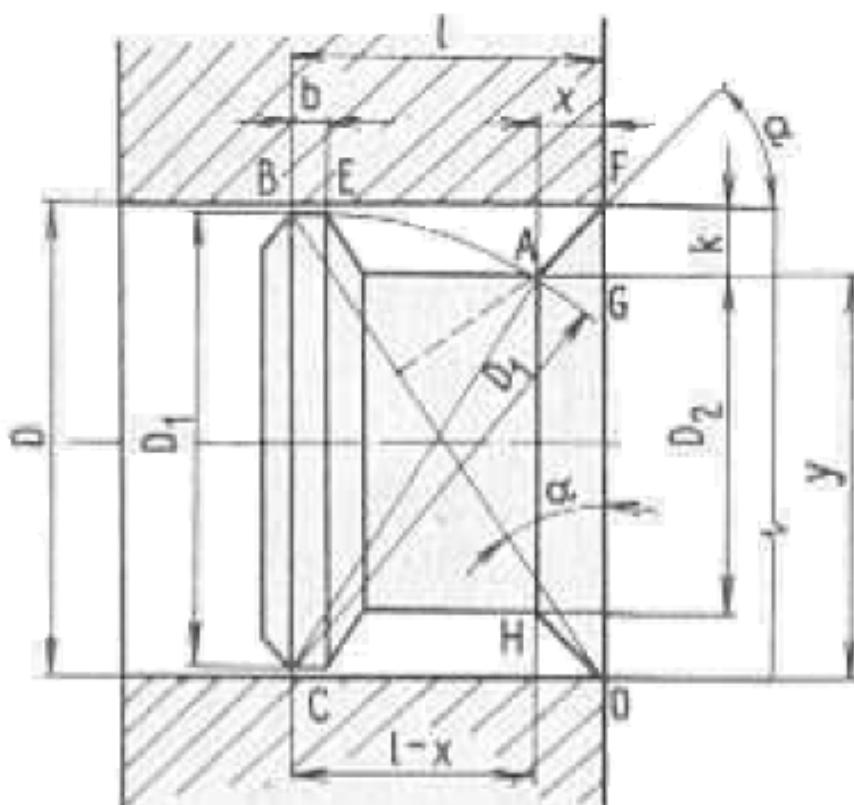
$$b = \sqrt{2D\Delta - \Delta^2}.$$

Protože Δ^2 hodnota velmi malá, zanedbáme ji a dostaneme pro b výraz:

$$b = \sqrt{2D\Delta}.$$

Trn se při ručním nasouvání odkloní o úhel α , který bývá kolem 15 až 20°. Proto je naváděcí část za válcovou částí průměru D_1 a šířky b ztenčena na průměr D_2 až do bodu A (obr. 14), načež přechází v kužel s vrcholovým úhlem 2α .

Ve vzdálenosti l má již trn požadovaný průměr D . Hrany naváděcího průměru D_1 i průměru D trnu musí být zaobleny, aby nedošlo k poškození otvoru D .



Obr. 14: Schéma výpočtu středícího čepu 2

Přistupme nyní k určení velikosti průměru D_2 . Z trojúhelníku HAC platí:

$$\overline{HA}^2 = \overline{AC}^2 - \overline{CH}^2,$$

po dosazení je

$$y^2 = D_1^2 - (1-x)^2 = D_1^2 - l^2 + 2lx - x^2.$$

Z trojúhelníku AFG určíme, že:

$$\overline{FG} = k = x \tan \alpha,$$

$$y = D - k = D - x \tan \alpha,$$

$$y^2 = (D - x \tan \alpha)^2 = D^2 - l^2 + 2lx - x^2,$$

pro malé v ůle je možno položit $D_1 = D$.

Odtud

$$D^2 - 2Dx \tan \alpha + x^2 \tan^2 \alpha = D^2 - l^2 + 2lx - x^2.$$

Anulováním rovnice dostaneme

$$x^2 \tan^2 \alpha + x^2 - 2Dx \tan \alpha - 2lx + l^2 = 0,$$

po úpravě

$$x^2(\tan^2 \alpha + 1) - 2x(D \tan \alpha + l) + l^2 = 0,$$

dosazením za $l = D \tan \alpha$ dostaneme

$$x^2(\tan^2 \alpha + 1) - 4xD \tan \alpha + D^2 \tan^2 \alpha = 0;$$

pak

$$x_{1,2} = \frac{4D \tan \alpha \pm \sqrt{16D^2 \tan^2 \alpha - 4(\tan^2 \alpha + 1)D^2 \tan^2 \alpha}}{2(\tan^2 \alpha + 1)},$$

po úpravě

$$x_{1,2} = \frac{D \tan \alpha (2 \pm \sqrt{3 - \tan^2 \alpha})}{\tan^2 \alpha + 1}.$$

Nejmenší hodnota odpovídá znaménku minus před odmocninou, takže stačí uvažovat výraz

$$x = \frac{D \tan \alpha (2 - \sqrt{3 - \tan^2 \alpha})}{\tan^2 \alpha + 1}.$$

Protože

$$D_2 = D - 2x \tan \alpha = D - \frac{2D \tan^2 \alpha (2 - \sqrt{3 - \tan^2 \alpha})}{\tan^2 \alpha + 1},$$

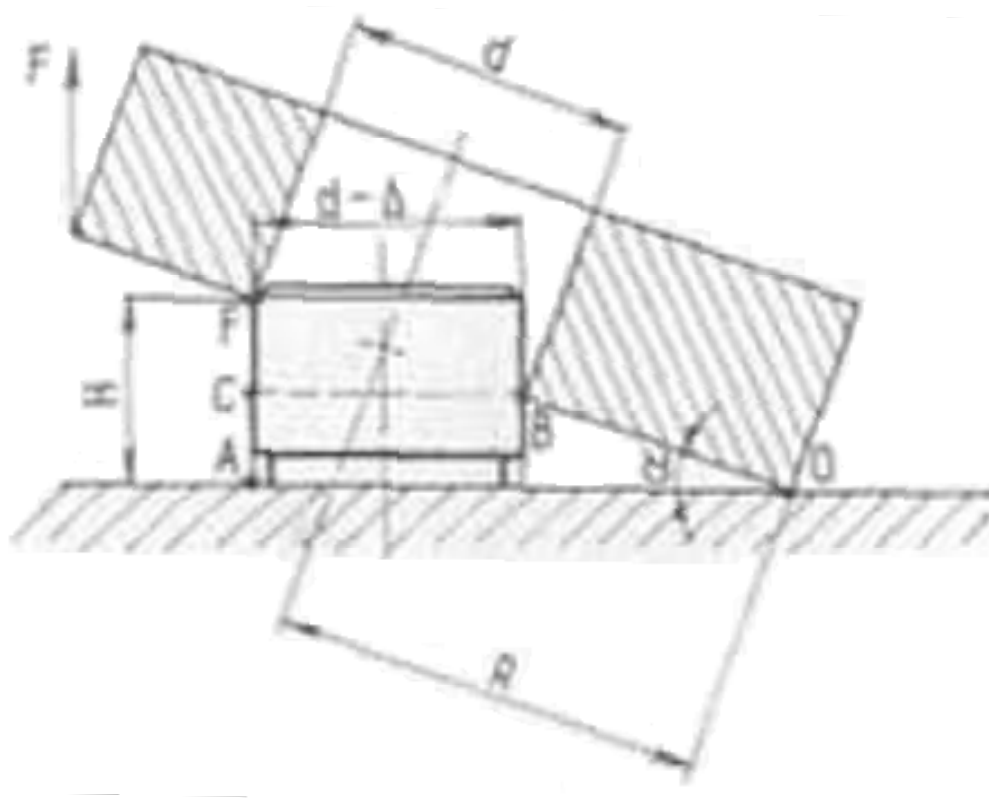
je konečný výraz pro

$$D_2 = D \left[1 - \frac{2 \tan^2 \alpha (2 - \sqrt{3 - \tan^2 \alpha})}{\tan^2 \alpha + 1} \right].$$

Označíme-li výraz v závorce písmenem m , můžeme pak psát

$$D_2 = m \times D.$$

Pro určení maximální výšky použijeme obr. 15, na němž je znázorněno snímání výrobku ze středícího čepu. Zvedáme-li výrobek za jeden okraj, překlápí se a opírá koncem v bodě O o základní ustavující plochu přípravku. Zároveň se výrobek smyká po čepu. Zvolí-li se rozměry podle nakresleného obrázku, zaklínění nenastane. Na obr. 15 je



Obr. 15: Výpočet výšky středícího čepu

d - nejmenší průměr otvoru

Δ — nejmenší vůle uložení

$(d - \Delta)$ — největší průměr čepu

R - vzdálenost od osy výrobku k opěrnému bodu O

α - úhel sklonu výrobku v mezní poloze

Maximální výšku čepu H vypočítáme tak, že vyjádříme z trojúhelníku AOF

$$\sin \alpha = \frac{H}{\frac{d}{2} + R},$$

z trojúhelníku CBF

$$\cos \alpha = \frac{d - \Delta}{d}.$$

Připravené vztahy dosadíme do obecně platné rovnice

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1,$$

pak

$$\left(\frac{H}{\frac{d}{2} + R} \right)^2 + \left(\frac{d - \Delta}{d} \right)^2 = 1,$$

ze které můžeme již vypočítat výšku čepu H

$$H^2 = \left[1 - \left(\frac{d - \Delta}{d} \right)^2 \right] \left(\frac{d}{2} + R \right)^2,$$

$$H^2 = \frac{2d\Delta - \Delta^2}{d^2} \left(\frac{d}{2} + R \right).$$

Zanedbáme veličinu druhého řádu Δ^2 (Δ je řádově v setinách mm), pak

$$H^2 = 2d\Delta \left(\frac{R + 0,5d}{d} \right)^2$$

A výška čepu

$$H = \frac{R + 0,5d}{d} \sqrt{2d\Delta}.$$

4. Použití přípravků [2]

Přípravky pomáhají zlepšovat jakost výrobku a zvětšovat pracovní výkon. V některých případech jsou přípravky pro vykonání potřebné operace naprosto nezbytné. Vhodně volené přípravky umožňují často dělníkovi práci na dvou i více strojích zároveň. Použití i konstrukce přípravku se řídí druhem výroby, tj. kusové nebo sériové.

Při kusové výrobě se součásti obrábějí i montují pomocí běžného výrobního zařízení, popřípadě se použije jen takových pomůcek, které jsou pro žádané operace nezbytné. Odlitky se před obráběním orýsují. Podle tohoto označení se pak součást obrábí. Při obrábění je nutno neustále porovnávat zhotovené rozměry s výkresem.

Obrábění rotačních obrobků na soustruzích a bruskách nevyžaduje sice vždy orýsování, avšak i zde je třeba věnovat velkou pozornost správnému středění (vyrovnání) obrobku. Práce na univerzálních strojích v kusové výrobě je vždy zdlouhavá a vyžaduje zručné i spolehlivé pracovníky, aby se zabránilo zmetkům často velmi drahých obrobků, zvláště jde-li o rozměrné, nebo složité obrobky.

K upínání se používá normálních upínacích pomůcek: ustavení obrobku na stroji ve správné poloze a upnutí je tedy většinou nepohodlné, zdlouhavé a obtížné a obrobky je nutno při montáži často dodatečně opravovat (přelícovávat). Přesto je tento pracovní postup při kusové výrobě hospodárný, neboť pořizování speciálních přípravků by bylo velmi drahé. Konstruktor musí při navrhování přípravků dbát na to, aby jeho zařízení bylo spolehlivé po stránce funkční a aby se dalo vyrobit pomocí zařízení, které je v závodě k dispozici.

Při sériové výrobě je již výhodné navrhnout vhodné speciální přípravky. Součásti se nemusí orýsovat. Speciální upínací přípravky zaručují správné a rychlé ustavení součásti vzhledem k nástroji bez podstatného vlivu dělníka a často odstraňují i proměrování. Tím se podstatně zkrátí vedlejší časy. Přitom lze součást vyrobit s potřebnou přesností, takže se ušetří dodatečná úprava při montáži. Součásti přípravku jsou výměnné. To umožňuje jejich skladování a zrychlení jejich dodávky.

Pro hromadnou výrobu je výhodné použít složitějšího speciálního výrobního zařízení. Pro každou operaci nebo pro několik operací na obrobku je použito buď speciálního, nebo normálního obráběcího stroje doplněného speciálním zařízením umožňujícím dosažení největšího řezného výkonu při nejkratších vedlejších časech.

V dnešních podmínkách je již výroba mezi závody rozdělena tak, že každý závod vyrábí jen určité druhy výrobků. To umožňuje obrábět tvarově podobné součásti pomocí typizované výrobní technologie, doplněné skupinovým obráběním. Pro tento způsob výroby můžeme použít jednotného speciálního nářadí a jednotných přípravků pro určitou skupinu součástí podle typových technologických postupů.

Skupinové univerzální nebo seřizovatelné přípravky, popř. s malými doplňky pro jednotlivé obrobky, jsou potom vhodné pro celou skupinu obrobků.

Zavedením skupinové výroby pomocí přípravků a vhodného pomocného zařízení má kusová výroba přibližně stejné podmínky jako výroba sériová.

5. Vliv třísek na konstrukci přípravku [2]

Třísky můžou způsobit různé nedostatky (např. změna polohy v přípravku, poškození upínacích součástí) a zavinit tak i zmetky obrobků. Ostré hrany třísek snadno zraní dělníka. Odletující třísky mohou způsobit i těžké úrazy. Při řešení přípravků je nutno odstranit vliv třísek jejich důsledným odstraňováním a ochranou před nimi.

Odstranění třísek lze dosáhnout:

- a) Uspořádáním přípravku tak, aby z něj třísky padaly pokud možno vlastní hmotností, nebo vyletovaly odstředivou silou.*
- b) Dírami ve stěnách přípravku, je-li to výhodné pro odchod třísek*
- c) Zešíkmením plochy, po níž mohou třísky klouzat*
- d) Odstraněním prohlubenin, které by mohly bránit odchodu třísek*
- e) Odstraněním obtížně přístupných vnitřních hran, koutů, nebo výdutí*
- f) Vyvýšením ustavovacích ploch (opěrných) nad okolní plochy, na nichž menší množství třísek nemá vliv na dobré a přesné upnutí obrobku*
- g) Správnou velikostí ložných a upínacích ploch, které nemají být větší, než je třeba k zajištění obrobku v přípravku*
- h) Uspořádáním drážek a prohlubní na vnitřních hranách upínacích, nebo opěrných součástí*

5.1. Ochrana před třískami

Součástí přípravku vystavené vlivu třísek se pro zmenšení otěru kalí. Ochrany, zvláště pohyblivých součástí, se dosáhne jejich částečným, nebo úplným vestavěním, zakrytím, nebo stíracími ucpávkami. Odletující třísky se zachycují kryty z drátěného pletiva, nebo průhlednými deskami z plastu.

Při všech plánovaných opatřeních, počítajících s odstraňováním třísek nebo s ochranou před nimi, je nutno uvažovat jakost, velikost, tvar a množství odletujících třísek a jaké je při obrábění použito kapaliny.

6. Volba materiálu pro přípravky [2]

Materiál přípravku musí plně vyhovovat všem požadavkům, které budou na přípravek kladeny (dostatečná pevnost, pružnost, odolnost proti opotřebení apod.)

Hlediska, která rozhodují o volbě materiálu lze shrnout do těchto bodů:

- 1) Namáhání, opotřebování, tvar a funkce uvažovaného přípravku a jeho součásti*
- 2) Nejmenší stupeň obrobení přípravku*
- 3) Počet kusů vyráběných přípravků*
- 4) Pracovní prostředí, pro které je přípravek určen*
- 5) Požadovaná přesnost přípravku*
- 6) Cena, skladovaný druh materiálu a výrobní možnosti nářadovny*
- 7) Hmotnost přípravku*

V Tabulce 2 jsou příklady použití materiálu pro různé součásti. Všechny uvedené faktory je nutno při návrhu konstrukce v plné šíři respektovat, protože přípravek má vůbec umožnit, nebo zrychlit výrobu. Náklady na přípravek mají být pokud co možno nejnižší (z toho plyne volba technologie při výrobě přípravku), přesnost zpracovaného obrobku co nejvyšší a opakovatelná.

Dále minimální hmotnost přípravku, zvláště v těch případech, kdy je nutno s přípravkem manipulovat na výrobním stroji, eventuálně jej přemísťovat na různá technologická pracoviště atd. U všech těchto faktorů se uplatní volba použitých materiálů jako výchozí parametr k jejich úspěšnému splnění.

Součást	Materiál	Poznámka
Tvarové čelisti sklíčidla soustruhu, měkké	11 700	
Dorazové a tlačné šrouby	12 050, 12 061	dosedací plocha
Hřídele výstředníků, nebo vaček	12 010	cementováno
Kontrolní šablony pro soustruhy	11 340	cementováno
Kroužky do válečkových ložisek na zachycení osového tlaku	14 100, N9 424	kaleno
Kruhové podložky zesílené	11 425	cementováno a kaleno
Kulové podložky	11 600	kaleno
Matice s kulovou plochou a s nákrůžkem	11 600	kaleno v oleji
Odlitky ze šedé litiny; větší odlitky;	422 418	
Drobnější odlitky tenkostěnné	422 424	
Opěrné čepy s hlavou, malé do ϕ 25 mm	19 452	kaleno HRC 56
Větší průměr	12 010	cementováno
Otočné podložky	11 370	cementováno do hloubky min 0,5 mm
Páky výstředníků	11 500	
Pojišťovací kolíky	12 050	kaleno
Prizma	N 2024	dosedací plocha kalena
Rukojeti	11 500	
Středící čepy do ϕ 20 mm	19 452	kaleno HRC 56
Středící čepy přes ϕ 20 mm	12 010	cementováno 0,5 mm
Středící vložky	12 010	cementováno 0,5 mm
Šrouby se čtyřhrannou hlavou s čípkem	11 600	čípek a hlava šroubu kaleny
Upínací trny do ϕ 20 mm	19 191, 19 192	kaleno
Upínací trny přes ϕ 20 mm	12 010, 14 220	cementováno
	BEVZ	cementováno ve výjimečných případech
Rozpínací trny	14 220, BEVZ	
Kleštiny	16 420	
Trny namáhané	15 150, 16 420, 16 640	kaleno
Hroty	19 191, 19 192	kaleno HRC 62
Klíny	11 600	kaleno
Vačky	12 010	cementováno 0,8 mm
Upínky	11 500	dosedací plocha kalena
Vrtací pouzdra vnitřní ϕ 6 až 17 mm	19 452	cementováno 0,5 mm a kaleno
Vrtací pouzdra větší	11 425	kaleno
Výstředníky	12 010, 14 220	cementováno

Tabulka 2: Přehled materiálů používané pro přípravky

7. Rozbor stávající situace

Toto pracoviště je použito pouze v případě, dojde-li k poruše na hlavní automatizované lince pro utahování šroubů na diferenciálním kole, které jsou obsluhou ručně předšroubovány.



Obr. 16: Stávající montážní stůl

Obsluha umístí diferenciál na gumovou podložku pracovního stolu (viz. obr. 16), která zajišťuje stabilitu vůči pootočení diferenciálního kola. Poté nasadí utahovačku na již předšroubované šrouby a přednastaveným momentem je po jednom dotáhne.

Kvůli pracnosti a namáhavosti této činnosti je požadována úprava stanoviště pro ruční dotahování šroubů diferenciálního kola. Dalším požadavkem je zachování ruční utahovačky Bosch.

Utahovačka Bosch rexroth má parametry podle tabulky:

označení	číslo objednávky	krouticí moment		délka utahovačky [mm]	hmotnost [kg]
		[Nm]	[1/min]		
ESA005S	608841018	1 - 5	1000	382	1,3
ESA013S	608841019	2,6 - 13			
ESA030S	608841020	6 - 30	800	416	1,6
ESA040S	608841021	8 - 40	1000	435	1,7
ESA056S	608841022	11 - 56	710	446	1,9
ESA065S	608841023	13 - 65	610	448	
ESA075S	608841024	15 - 75	530	450	2
ESA100S	608841025	20 - 100	630	492	3,1
ESA150S	608841026	30 - 150	380	531	3,8
ESA220S	608841027	44 - 220	260	541	4

Tabulka 3: Parametry utahovačky Bosch Rexroth ESA150S

Utahovačka bude proti lidské ruce působit silou F_{\max} podle výpočtu:



$$M_{\max} = 150 \text{ Nm}$$

$$l = 425 \text{ mm}$$

$$F_{\max} = \frac{M_{\max}}{l} = \frac{150}{0,425} = 352,942 \text{ N}$$

8. Návrh řešení

K zadržení síly použiji rám, který bude uchycen k původnímu pracovnímu stolu. Tento rám bude zkonstruován z normalizovaných hliníkových profilů. Item a utahovačku bude výškově stabilizovat pružinový balancér od firmy Gison s těmito parametry:

Parametry	
nosnost	3 - 5 kg
hmotnost balancéru	0,81 kg
zdvih	1,5 m
průměr lana	3,2 mm

Tabulka 4: Parametry balancéru



Obr. 17: Pružinový balancér

Výsledná montáž rámu bude vyžadovat odstranění jednoho z montážních stolů. Dále budeme muset koupit příslušenství k utahovačce BOSCH pod katalogovým číslem REXROTH 3608875921 (jedná se o závěsný kroužek viz. obr. 18) a Item profil 8 40x40. K tomuto profilu krycí lištu pod katalogovým číslem Item 0.0.422.77.



Obr. 18: Závěsný kroužek BOSCH

Výsledná sestava rámu s přidánými komponenty bude vypadat takto:



Obr. 19: Upravený montážní stůl

Takto vzniklý rám z profilů Item bude sešroubován a přichycen k rámu stolu. Balancér s utahovačkou bude umístěn na tyči $\varnothing 8$ mm. Zde hrozí nebezpečí průhybu tyče, tudíž provedu kontrolu výpočtem.

Rozměrové hodnoty:

Materiál tyče: 11 600 ($R_m = 590 - 705$ MPa)

Průměr tyče: $d = 8$ mm

Délka vyložení tyče: $l = 80$ mm

Zatížení tyče: $m = 5$ kg

Modul pružnosti v tahu: $E = 2,5 \times 10^5$ MPa

$$M_{Omax} = \frac{m \times g}{\frac{l}{2}} = \frac{5 \times 9,81}{\frac{0,02}{2}} = 1960 \text{ N.m}$$

$$W_o = \frac{\pi \times d^3}{32} = 5,02655 \times 10^{-8} \text{ m}^3$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{1960}{5,02655 \times 10^{-8}} = 38,993 \text{ MPa}$$

$$I_k = \frac{\pi \times d^4}{64} = 2,01062 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$y_{max} = \frac{m \times g \times l^3}{48 \times E \times I_k} = \frac{5 \times 9,81 \times 0,08^3}{48 \times 2,5 \times 10^5 \times 2,01062 \times 10^{-10}} = 10,34 \text{ mm}$$

Z vypočtených hodnot vyplývá, že tyč je nevyhovující. Můžeme volit mezi jiným uchycením, nebo konstrukčními úpravami. Já volím konstrukční úpravu změnou délky vyložení tyče. K tomu použiji po obou stranách 30 mm dlouhý Item, který bude zespod opřen o krycí lištu kvůli pootočení a rozpěrným kroužkem z plastu zajištěn vůči podélnému posunutí. Takto upravená tyč (obr. 20) bude mít délku 14 mm. Přepočítám tedy výsledky s nově upravenou délkou. Hodnoty poté budou takovéto:

Rozměrové hodnoty:

Materiál tyče: 11 600 $R_m = 590 - 705$ MPa

Průměr tyče: $d = 8$ mm

Délka vyložení tyče: $l = 14$ mm

Zatížení tyče: $m = 5$ kg

Modul pružnosti v tahu: $E = 2,5 \times 10^5$ MPa

$$M_{Omax} = \frac{m \times g}{\frac{l}{2}} = \frac{5 \times 9,81}{\frac{0,014}{2}} = 0,343 \text{ N.m}$$

$$W_o = \frac{\pi \times d^3}{32} = 5,02655 \times 10^{-8} \text{ m}^3$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{0,343}{5,02655 \times 10^{-8}} = 6,824 \text{ MPa}$$

$$I_k = \frac{\pi \times d^4}{64} = 2,01062 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$y_{max} = \frac{m \times g \times l^3}{48 \times E \times I_k} = \frac{5 \times 9,81 \times 0,014^3}{48 \times 2,5 \times 10^5 \times 2,01062 \times 10^{-10}} = 0,056 \text{ mm}$$



Obr. 20: Upravení vyložení tyče

Takto vypočtený průhyb je skoro zanedbatelný, takže tyč je vyhovující. Dalším krokem bude kontrola šroubů, kterými je rám přichycen ke stolu (podle [URL 8]), jestli vydrží takový utahovací moment. Je tedy důležité spočítat působící sílu z momentu utahovačky. Síla vyvinutá utahovačkou vůči rámu bude:



$$M_{\max} = 150 \text{ Nm}$$

$$l = 250 \text{ mm}$$

$$F_{\max} = \frac{M_{\max}}{l} = \frac{150}{0,25} = 600 \text{ N}$$

Pevnostní kontrola šroubu na otlačení:

Šroub M8x70 ISO 4762

$$P = 1,25 \text{ mm}$$

$$d_1 = 6,647 \text{ mm}$$

$$d_2 = 7,188 \text{ mm}$$

$$d_3 = 6,466 \text{ mm}$$

$$p = \frac{F}{z \cdot \pi \cdot d_2 \cdot H_1} \leq p_D$$

p (MPa) – napětí (otlačení)

p_D (MPa) – dovolené napětí (otlačení)

z – počet aktivních závitů

H_1 (mm) – nosná výška závitu

$$H_1 = (d - d_1) / 2$$

d_1 (mm) – malý průměr závitu

$$\text{délka aktivních závitů: } m = z \cdot P = 28 \text{ mm}$$

$$p = \frac{600}{\frac{28}{1,25} \cdot \pi \cdot 7,188 \cdot \frac{8 - 6,647}{2}} = 1,753 \text{ MPa}$$

Tlak na závitech je zcela vyhovující pro celou škálu pevnostních tříd šroubů (viz. Tabulka 5).

Materiál vnitřního závitu	Třídy pevnosti materiálů šroubů								
	4A	4D	4S	5D	5S	6G	8G/8E	10K/10G	12K
	3,6	4,6	4,8	5,6	5,8	6,8	8,8	10,9	12,9
	p_D (MPa)								
Ocel	40	50	75	70	90	110	150	200	250
Litina	25	30	45	40	55	70	90	125	150
Hliníkové slitiny	18	20	30	27	35	45	60	80	90

Tabulka 5: Dovolené tlaky v závitech spojovacích šroubů

Třída pevnosti šroubu	podle ISO							8.8 $\leq M16$ $> M16$			
	podle ČSN	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8G	8E	10K	12K
Označení šroubů bez zatížení podle tvrdosti		11H	11H	11H	14H	14H	32H	22H	22H	33H	45H
Mez pevnosti R_m (MPa)		300	400	400	500	500	600	800	800	1000	1200
Mez kluzu R_e (MPa)		180	240	320	300	480	-	-	-	-	-
popř. $R_p 0,2$ (MPa)		-	-	-	-	-	640	640	650	900	1080
Třída pevnosti matice: a) plně zatížené b) s omezenou zatížitelností c) bez zatížení		4	4	4	5	5	6	8	8	10	12
		04	04	04	04	05	05	-	-	-	-
		11H	11H	11H	11H	14H	14H	17H	17H	22H	-
Zkušební napětí σ_p (MPa)		180	225	310	280	380	440	580	600	830	970

Tabulka 6: Mechanické vlastnosti ocelových šroubů a matic (ČSN EN 20898-1)

Způsob zatížení a namáhání	Dovolené napětí σ_D	Poznámka
Zatížení silou v ose šroubu:		
1. Spoj bez předpětí utahovaný v nezátíženém stavu	$\sigma_D \approx 0,8 R_e$	Míjivé zatížení $\sigma_D \approx 0,6 R_e$ Střídavé zatížení $\sigma_D \approx 0,45 R_e$
2. Spoj bez předpětí utahovaný v zatíženém stavu	$\sigma_D \approx 0,6 R_e$	Míjivé zatížení $\sigma_D \approx 0,45 R_e$ Střídavé zatížení $\sigma_D \approx 0,35 R_e$
3. Spoj s předpětím zatížený klidně	$\sigma_D \approx (0,3 \text{ až } 0,15) R_e$	Větší hodnoty pro nižší mechanické vlastnosti a velké průměry
4. Spoj s předpětím zatížený míjivě	$\sigma_D \approx (0,3 \text{ až } 0,15) R_e$	Větší hodnoty pro nižší mechanické vlastnosti a malé průměry
Zatížení silou kolmou k ose šroubu:		
5. Silový spoj	$\sigma_D \approx (0,3 \text{ až } 0,15) R_e$	Větší hodnoty pro nižší mechanické vlastnosti a velké průměry
6. Tvarový spoj (lícované šrouby)	$\tau_D \approx 0,4 R_e$	Zatížení rázy $\tau_D \approx 0,3 R_e$

Tabulka 7: Dovolená napětí pro výpočet šroubů

Pevnostní podmínka v tahu:

$$\sigma = \frac{F}{A_S} \leq \sigma_D ; A_S = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2$$

σ (MPa) - napětí

σ_D (MPa) - dovolené napětí

A_S (mm²) - jmenovitý výpočtový průřez

F (N) - zatěžující síla

d_2 (mm) - střední průměr závitu

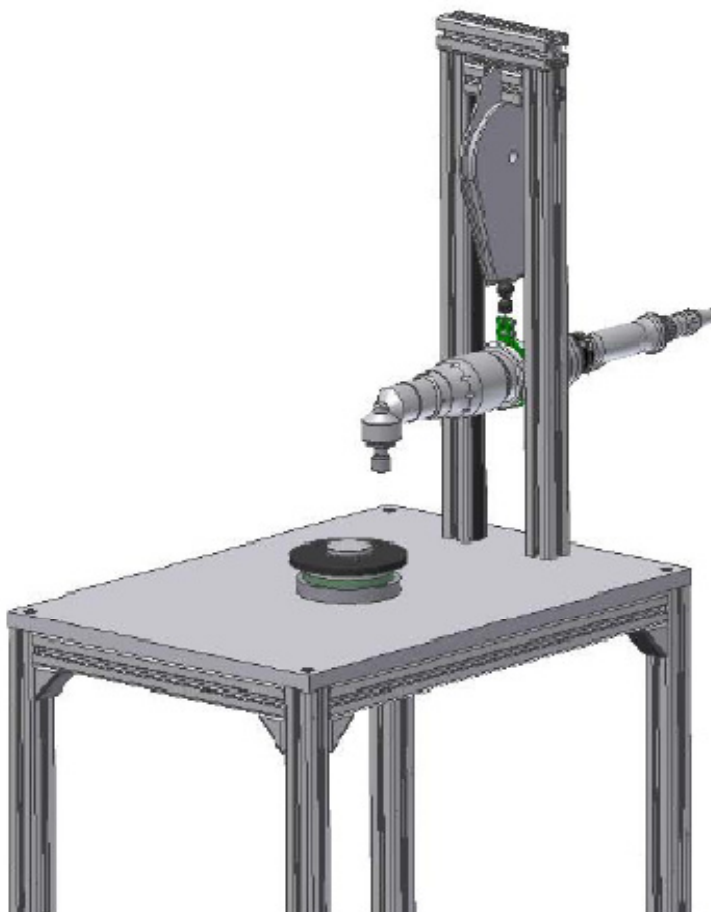
d_3 (mm) - malý průměr závitu (průměr jádra)

$$A_S = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{7,188 + 6,466}{2} \right)^2 = 36,606 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{600}{36,606} = 16,4 \text{ MPa}$$

Jestliže zvolím třídu pevnosti šroubu 3.6, pak bude $R_e = 180 \text{ MPa}$ z Tabulky 6. Poté z Tabulky 7 zvolím spoj zatížený míjivě, takže $\sigma_D = 0,15 \cdot R_e = 27 \text{ MPa}$. Šroub tedy plně vyhovuje.

Jako další krok úprav by bylo vhodné vyřešit otáčení diferenciálu, abychom snížili pracnost montáže. K tomuto účelu odstraníme i zbývající montážní stůl a diferenciál umístíme na hřídel, která bude uložena v přírubě a ta bude přichycena k desce stolu. Diferenciál bude pokládán na gumovou podložku a konec hřídele bude upraven jako středící čep. Výpočty provedeme podle kapitoly 3.3.3 a upravená montážní stanice bude vypadat jako obr. 21.



Obr. 21: Montážní stůl s rámem pro utahovačku

Rozměrové hodnoty:

Průměr díry $D = 55^{+15}_0$ mm

Vůle $\Delta = 0,25$ mm

Úhel α volím 20°

Vzdálenost od osy výrobku k opěrnému bodu O, $R = 70$ mm

Nejmenší průměr otvoru $d = 55$ mm

$$D_1 = D - \Delta = 55 - 0,25 = 54,75 \text{ mm}$$

$$b = \sqrt{2D\Delta} = \sqrt{2 \times 55 \times 0,25} = 5,244 \text{ mm}$$

$$D_2 = D \left[1 - \frac{2 \tan^2 \alpha (2 - \sqrt{3 - \tan^2 \alpha})}{\tan^2 \alpha + 1} \right]$$
$$= 50 \times \left[1 - \frac{55 \times \tan^2 20^\circ (2 - \sqrt{3 - \tan^2 20^\circ})}{\tan^2 20^\circ + 1} \right] = 54,272 \text{ mm}$$

$$H = \frac{R + 0,5d}{d} \sqrt{2d\Delta} = \frac{70 + \frac{55}{2}}{55} \times \sqrt{2 \times 55 \times 0,2} = 9,296 \text{ mm}$$

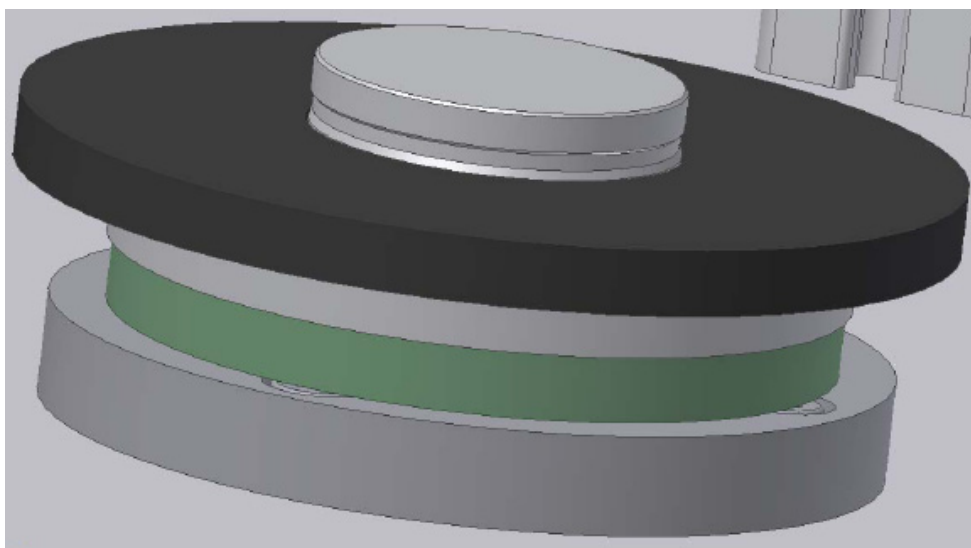
Z vypočítaných hodnot volím rozměry čepu:

$$D_1 = 54,7 \text{ mm}$$

$$b = 5,3 \text{ mm}$$

$$D_2 = 54 \text{ mm}$$

$$H = 9,5 \text{ mm}$$



Obr. 22: Detail středícího čepu

9. Finální řešení

Jako výborné řešení daného problému volím použití stojanu pro vrtačky (obr. 23) od dodavatele *GM Electronic*, který nám po menších úpravách poskytne dokonalou stabilizaci utahovačky.

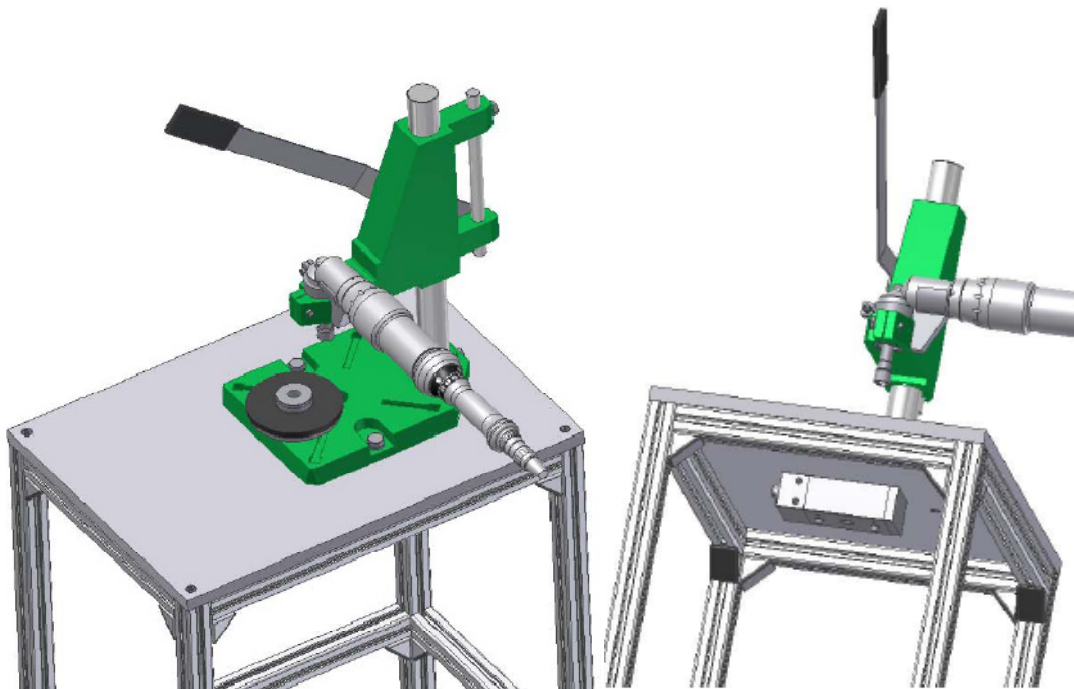
Do základní desky stojanu je třeba vyvrtat díru (viz. Příloha 17), do které se umístí kluzné pouzdro, ve kterém se bude točit přípravek k ustavení kola diferenciálu.



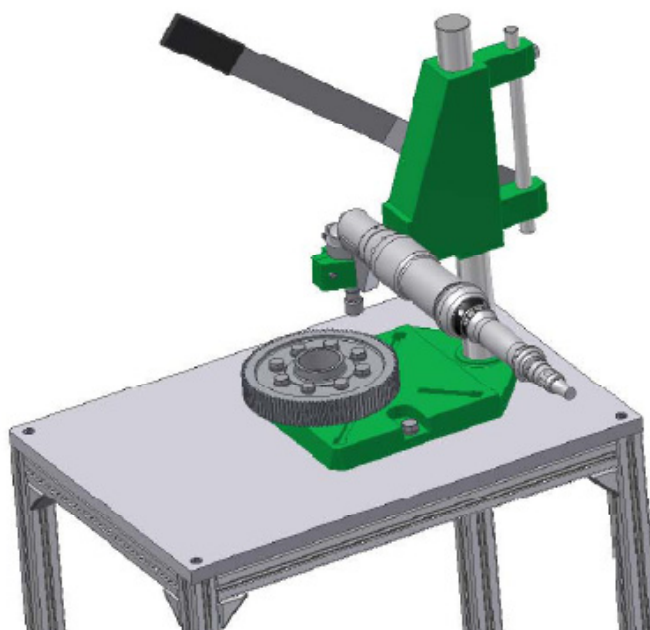
Obr. 23: Stojan pro vrtačky

Přípravek bude hřídel zakončená středícím čepem (viz. Příloha 14), který bude mít rozměry z předchozích výpočtů. Otáčení přípravku bude zajišťovat kyvný pohon *DRQD* od firmy Festo, který bude připevněný ke spodní straně desky stolu a přenos kroutícího momentu na hřídel bude realizován pomocí pera.

Dále je potřeba upravit desku stolu pro umístění konstrukce přípravku (Příloha 3) a vyrobít podpěru pod utahovačku (viz. Příloha 15). Po úpravách bude výsledné pracoviště vypadat jako obr. 24.



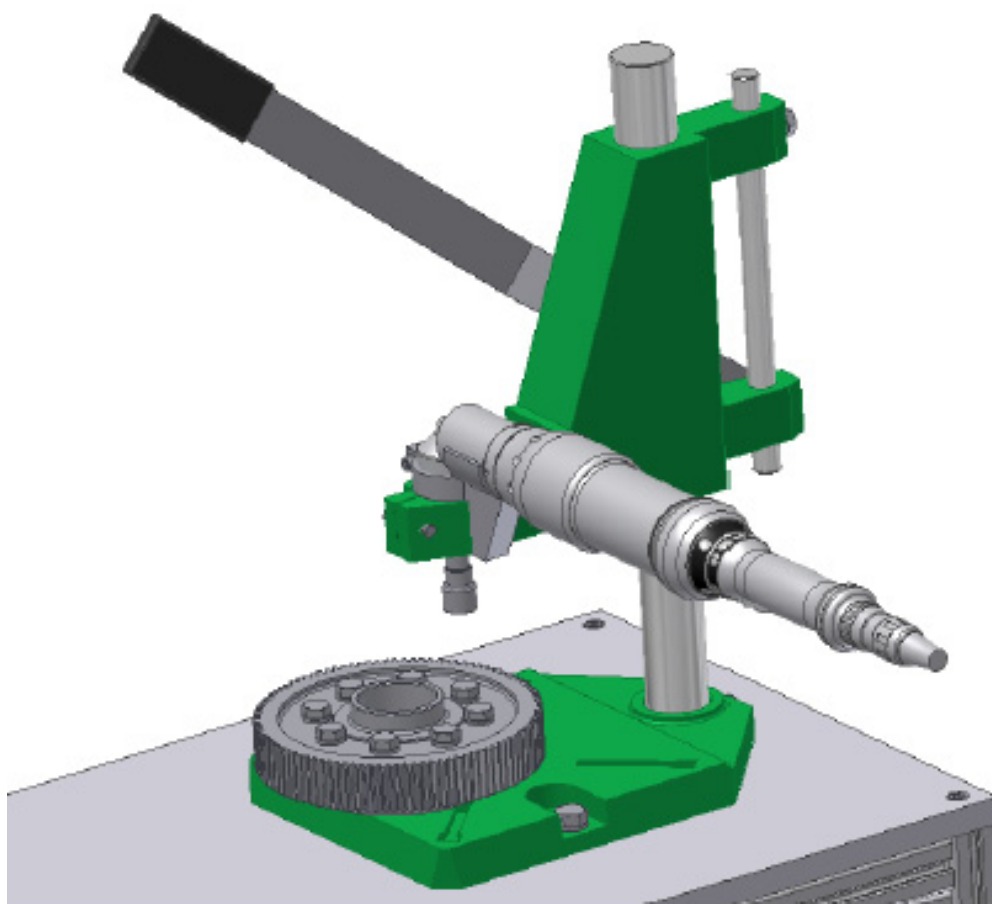
Obr. 24 : Upravený pracovní stůl



Obr. 25: Přípravek s diferenciálem

Celý pracovní proces bude spočívat v tom, že obsluha umístí diferenciál na gumovou podložku přípravku (obr. 25) a středící čep zajistí ustavení. Sjede dolů stojanem tak, aby ořech dosedl na hlavu šroubu a spustí utahovačku.

Po zašroubování zvedne stojan, stiskne tlačítko a kyvný pohon pootočí diferenciál na další utahovací polohu (45°). Můžeme také umístit indukční čidlo na stojan do koncové polohy, ve které se automaticky sepne pohon otočného válce. Toto řešení již nebylo úkolem mé práce.



Obr. 26: Detail přípravku

10. Technicko-ekonomické zhodnocení

Na této montážní lince je práce pouze občasná. Není tedy nutné vynaložit příliš vysoké náklady na úpravu. Pro obě řešení jsem k jednotlivým komponentům vyhledal jejich reálné ceny. K porovnání jsou v Tabulkách 8 a 9.

Název	délka/ množství (m,ks)	cena/ m (ks)	cena
Item 8 40x40	1,430	131,00	187,33
TECAST Ø16	0,015	54,00	0,81
TECAST Ø110	0,012	1436,40	17,24
ČSN 42 5510, Tyč Ø10	0,200	244,00	48,80
ČSN 42 5510, Tyč Ø115	0,115	303,30	34,88
ČSN 42 5510, Tyč Ø130	0,750	52,04	39,03
Guma t10	0,140	82,80	11,59
Balancér Gison	1	4420,00	4420,00
Objímka Bosch	1	1246,00	1246,00
Matice M8 4032	2	1,83	3,67
Podložka DIN 127 A8	14	0,42	5,88
ŠROUB ISO 4762 M8x30	4	3,60	14,40
ŠROUB ISO 4762 M8x55	2	3,19	6,38
ŠROUB ISO 4762 M8x70	2	1,61	3,23
			6039,23

Tabulka 8: Součet komponentů prvního řešení

Název	délka/ množství (m,ks)	cena/ m (ks)	cena
TECAST Ø90	0,006	945,00	5,67
Guma t10	0,140	82,80	11,59
ČSN 42 5510, Tyč Ø90	0,125	312,24	39,03
ČSN 42 5510, Tyč Ø140	0,090	433,67	39,03
Stojan 80369	1	401,00	401,00
Nástrčná hlavice TONA ½“	1	31,00	31,00
Kluzné ložisko PCM 556030E	1	204,00	204,00
Podložka DIN 126 A 6,6	2	1,16	2,32
Šroub ISO 4762 M6x30	1	2,16	2,16
Kyvný válec DRQD Festo	1	5249,00	5249,00
Podložka DIN 127 A6	3	0,38	1,15
Podložka DIN 127 A14	2	1,27	2,54
Šroub ISO 4762 M6x60	2	1,08	2,16
Šroub ISO 4018 M14x35	2	2,91	5,81
			5996,47

Tabulka 9: Součet komponentů druhého řešení

K těmto cenám musíme také započítat lidské zdroje, energie potřebné k jejich výrobě a správní režie. Tudiž se cena může výrazně lišit v závislosti na výběru dodavatele. Podle součtů v jednotlivých tabulkách vidíme, že druhá možnost je i přes umístěný kyvný pohon levnější.

11. Závěr

Mým úkolem byl návrh, rozkreslení a zhodnocení přípravku pro utahování šroubů diferenciálního kola pomocí utahovačky *Bosch Rexroth ESA150S*. Jako nejlepší a nejschůdnější variantu jsem zvolil použití stojanu na vrtačky spolu s kombinací kyvného pohonu *DRQD* od firmy Festo, který zajistí plynulé otáčení diferenciálu na pracovním stole.

Tato varianta usnadní obsluhu práci v tom, že nemusí pokaždé odkládat utahovačku, vzniklý krouticí moment nepůsobí vůči lidské ruce, dále je zde realizováno otáčení diferenciálu a je i cenově příznivá.

K modelování a rozkreslení výkresů jsem použil program od společnosti *Autodesk Inventor 2010*, který mi umožnil simulace navrhovaných dílců.

12. Seznam použité literatury

- [1] MRKVICA, M. Přípravky a obráběcí nástroje – II. Díl přípravky.
Ostrava: VŠB-TU OSTRAVA, 1988, 182s.
- [2] CHVÁLA, B., VOTAVA, L. Přípravky. Praha: SNTL Praha, 1988, 276 s.
- [3] NOVÁK, Z. Nové trendy ve vývoji upínacího nářadí. MM Průmyslové spektrum,
6/2002, 56-57 s. ISSN 1212-257
- [4] VÁVRA, P., LEINVEBER, J. Strojnické tabulky. ALBRA, 2005,
ISBN 80-7361-011-6
- [5] KALÁB, Květoslav. Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části spojovací.
Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2008. 90s. ISBN 978-80-248-1290-8.

URL:

- [6] <http://www.boschrexroth.com/dcc/Vornavigation/VorNavi.cfm?Language=EN&VHist=&PageID=p331794>, dostupné dne 11.5.2011, čas 21:49
- [7] <http://catalog.item24.com>, dostupné dne 11.5.2011, čas 21:40
- [8] <http://www.gme.cz/cz/stojan-na-vrtacku-80369-prumer-40mm-p759-158.html>,
dostupné dne 11.5.2011, čas 21:41
- [9] http://www.festo.com/pnf/cs_cz/products/catalog?action=search&key=drqd,
dostupné dne 11.5.2011, čas 21:42
- [10] http://www.spssol.cz/~vyuka/PREDMETY/SPC/M0014_sroubovy_spoj_distancni_text.pdf, dostupné dne 12.5.2011, čas 15:00
- [11] <http://pryz.rempo.net/pryzove-tesnici-desky-sbr-pro-vseobecne-pouziti/>, dostupné
dne 17.5.2011, čas 11:32
- [12] http://www.mpcompany.eu/data/srouby_metricke/maloobchod_cenik_metr_sr.pdf,
dostupné dne 17.5.2011, čas 20:25
- [13] <http://www.aditeg.cz/desky/pryzove-desky/epdm-60-sh/epdm-60-sh-10-mm>,
dostupné dne 17.5.2011, čas 18:35
- [14] <http://www.ho-bra.cz/cenik07.htm>, dostupné dne 17.5.2011, čas 18:20
- [15] <http://www.wiltex.cz/wiltex-prestice-cenik-technicke-plasty-silon.php>, dostupné
dne 17.5.2011, čas 18:35

- [16] <http://www.naradi-naradi.cz/rucni-naradi/c-1328/>, dostupné dne 17.5.2011, čas 18:25
- [17] http://www.praktikloziska.cz/Loziska/?subkat=Kluzna_pouzdra, dostupné dne 17.5.2011, čas 18:30
- [18] <http://www.fabory.cz>, dostupné dne 17.5.2011, čas 18:30
- [19] [http://www.gison.com.tw/product/P0000000413-Spring-Balancer-\(3-0~5-0-kgs\).htm](http://www.gison.com.tw/product/P0000000413-Spring-Balancer-(3-0~5-0-kgs).htm), dostupné dne 17.5.2011, čas 19:30
- [20] <http://www.ferona.cz/cze/katalog/search.php>, dostupné dne 17.5.2011, čas 21:30

13. Seznam příloh

Číslo přílohy	Název	Číslo výkresu
Příloha 1	RUČNÍ ŠROUBOVACÍ STANICE	P-3110028A-00000A
Příloha 2	ŠROUBOVACÍ STANICE	P-3110028A-00000B
Příloha 3	ZÁKLADNÍ DESKA 2	P-3110028A-02002
Příloha 4	NOSNÁ TYČ	P-3110028A-04006
Příloha 5	ROZPĚRNÝ KROUŽEK	P-3110028A-04007
Příloha 6	item 8 40x40 - 30	P-3110028A-04008
Příloha 7	item 8 40x40 - 170	P-3110028A-04009
Příloha 8	item 8 40x40 - 600	P-3110028A-04010
Příloha 9	HŘÍDEL	P-3110028A-05001
Příloha 10	GUMA	P-3110028A-05002
Příloha 11	SPODNÍ PŘÍRUBA	P-3110028A-05003
Příloha 12	OPĚRNÝ KROUŽEK	P-3110028A-05004
Příloha 13	SESTAVA STOJANU	P-3110028A-06000
Příloha 14	HŘÍDEL	P-3110028A-06002
Příloha 15	PODPĚRA	P-3110028A-06003
Příloha 16	OPĚRNÝ KROUŽEK	P-3110028A-06004
Příloha 17	DESKA	P-3110028A-06005

14. Seznam tabulek

Tabulka 1: Značky rovin a opěrných ploch	14
Tabulka 2: Přehled materiálů používané pro přípravky.....	29
Tabulka 3: Parametry utahovačky Bosch Rexroth ESA150S.....	31
Tabulka 4: Parametry Balancéru.....	32
Tabulka 5: Dovolené tlaky v závitech spojovacích šroubů	38
Tabulka 6: Mechanické vlastnosti ocelových šroubů a matic (ČSN EN 20898-1)	38
Tabulka 7: Dovolená napětí pro výpočet šroubů	39
Tabulka 8: Součet komponentů prvního řešení	45
Tabulka 9: Součet komponentů druhého řešení.....	46

15. Seznam obrázků

Obr. 1: Zadání	3
Obr. 2: Komplexní obrobek	8
Obr. 3: Přemísťovací prvky přípravku	10
Obr. 4: Kvádr v kartézském souřadném systému	11
Obr. 5: Odebírání stupňů volnosti	12
Obr. 6: Správné ustavení při frézování drážky	12
Obr. 7: Ustavení podle tří na sebe kolmých rovin	16
Obr. 8: Plošná opěra	16
Obr. 9: Ustavení pomocí dvou kolmých ploch	17
Obr. 10: Ustavení do prizmatu	18
Obr. 11: Ustavení do kleštin	18
Obr. 12: Středící čep	19
Obr. 13: Schéma výpočtu středícího čepu	20
Obr. 14: Schéma výpočtu středícího čepu 2	21
Obr. 15: Výpočet výšky středícího čepu	23
Obr. 16: Stávající montážní stůl	30
Obr. 17: Pružinový balancér	32
Obr. 18: Závěsný kroužek BOSCH	33
Obr. 19: Upravený montážní stůl	34
Obr. 20: Upravení vyložení tyče	36
Obr. 21: Montážní stůl s rámem pro utahovačku	40
Obr. 22: Detail středícího čepu	41
Obr. 23: Stojan pro vrtačky	42
Obr. 24 : Upravený pracovní stůl	43
Obr. 25: Přípravek s diferenciálem	43
Obr. 26: Detail přípravku	44